

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
29. September 2005 (29.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/090925 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01F**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050208

(22) Internationales Anmeldedatum: 19. Januar 2005 (19.01.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität: 102004013249.6 18. März 2004 (18.03.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LANG, Tobias** [DE/DE]; Elisabethenstr. 32, 70197 Stuttgart (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

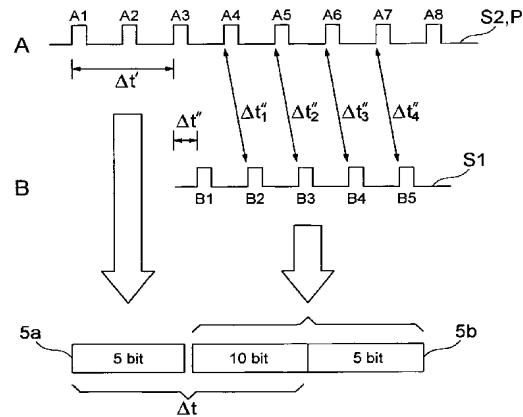
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** DETERMINATION OF THE PROPAGATION TIME DIFFERENCE IN AN ULTRASOUND FLOW SENSOR WITH MULTIPLE ZERO CROSSING DETECTION

(54) **Bezeichnung:** BESTIMMUNG DER LAUFZEITDIFFERENZ BEI EINEM ULTRASCHALL-STRÖMUNGSSENSOR MIT MEHRFACHER NULLDURCHGANGSDETEKTION



(57) **Abstract:** The invention relates to an ultrasound flow sensor, particularly for measuring a volume or mass flow of a fluid (1), comprising two ultrasound converters (A,B), which are offset in the direction of flow (Z) and which respectively transmit a periodic ultrasound signal (S1,S2) to the other ultrasound converter (B,A), and a control and evaluation unit (4) which detects several reception moments ( $t_i', t_i$ ) per ultrasound signal (S1,S2) when an ultrasound signal (S1,S2) is received by an ultrasound converter (B,A), enabling a measuring variable (S) to be determined therefrom. The accuracy of the measurement can be improved substantially if the control and evaluation unit (4) comprises at least two counters (5a,5b), whereby the first counter counts a time period ( $\Delta t'$ ) from a first switching or reception moment ( $t_i'$ ) of a signal (S2,P) at least until a first reception moment ( $t_i'$ ) of the ultrasound signal, and the second counter determines respectively the amount of time ( $\Delta t$ ) between a first and second moment in time ( $t_i', t_i$ ), which are combined in pairs, of the signals (S1,S2,P).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**WO 2005/090925 A2**



EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Kaffeemaschine mit einer Schublade zum Zuführen von Kaffeepads in eine Brühkammer der Kaffeemaschine (110). Um die Zuführung und Entsorgung von Kaffeepads möglichst einfach zu gestalten, ist vorgesehen, dass die Schublade (122, 210, 342) zum Entnehmen lösbar an der Kaffeemaschine (110) gelagert ist.

## 10 Beschreibung

Bestimmung der Laufzeitdifferenz bei einem Ultraschall-Strömungssensor mit mehrfacher Nulldurchgangsdetektion

15 Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Strömungssensor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie ein Verfahren zum Auswerten der Ultraschallsignale bei einem solchen Ultraschall-Strömungssensors gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 9.

20 Ultraschall-Strömungssensoren werden eingesetzt, um insbesondere den Volumen- oder Massestrom oder die Strömungsgeschwindigkeit eines gasförmigen oder flüssigen Mediums zu messen, das durch eine Rohrleitung strömt. Ein 25 bekannter Typ von Ultraschall-Strömungssensoren umfasst zwei in Strömungsrichtung versetzt angeordnete Ultraschallwandler, die jeweils Ultraschallsignale erzeugen und diese an den jeweils anderen Ultraschallwandler aussenden. Die Ultraschallsignale werden vom jeweils anderen Wandler 30 empfangen und mittels einer Elektronik ausgewertet. Der Laufzeitunterschied zwischen dem Ultraschallsignal in Strömungsrichtung und dem Ultraschallsignal in Gegenrichtung ist dabei ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit. Daraus kann die gewünschte Messgröße, wie z.B. ein Volumenstrom, 35 berechnet werden.

Fig. 1 zeigt eine typische Anordnung eines Ultraschall-Strömungssensors mit zwei Ultraschallwandlern A,B, die innerhalb einer Rohrleitung 3 angeordnet sind und sich in 40 einem Abstand L gegenüberstehen. In der Rohrleitung 3 strömt ein Fluid 1 mit einer Geschwindigkeit v in Richtung des

5 Pfeils 2. Die Messstrecke L ist gegenüber der Strömungsrichtung 2 um einen Winkel  $\alpha$  geneigt. Während einer Messung senden sich die Ultraschallwandler A,B gegenseitig Ultraschallimpulse zu, die je nach Richtung von der Strömung entweder verlangsamt oder beschleunigt werden. Die  
 10 Signallaufzeiten sind dabei ein Maß für die zu bestimmende Strömungsgeschwindigkeit.

Fig. 2 zeigt eine stark vereinfachte schematische Darstellung einer Wandleranordnung mit einer daran angeschlossenen  
 15 Steuer- und Auswerteelektronik 4. Der Sensor arbeitet nach dem sogenannten "sing-around" Verfahren. Dabei wird durch den Empfang eines Ultraschallsignals S1 bzw. S2 an einem der Wandler A,B unmittelbar ein Ultraschallsignal in Gegenrichtung ausgelöst.

20 Eine Strömungsmessung läuft im wesentlichen wie folgt ab: Die Elektronik 4 gibt einen elektrischen Impuls an den Wandler A aus, der daraufhin ein Ultraschallsignal S1 generiert und an den zweiten Wandler B aussendet. Nach einer Streckenlaufzeit  
 25  $t_{12}$  wird das Signal S1 vom zweiten Wandler B empfangen. Unmittelbar darauf generiert der zweite Wandler B ein Ultraschallsignal S2, das nach einer Streckenlaufzeit  $t_{21}$  am ersten Wandler A ankommt. Sind  $t_{12}$  und  $t_{21}$  die Schalllaufzeiten der Signale von A nach B bzw. umgekehrt, so ergibt  
 30 sich daraus ein Laufzeitunterschied  $\Delta t = t_{12} - t_{21}$ . Die Strömungsgeschwindigkeit v kann schließlich gemäß

$$v = \frac{2L}{\cos\alpha} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta t)^2} \cdot \frac{1}{s}$$

35 | 
$$v = \left( \frac{1}{t_{12}} - \frac{1}{t_{21}} \right) \cdot \frac{L}{2\cos\alpha}$$

berechnet werden. Dabei ist  $\Delta t = t_{12} + t_{21}$  die Summenlaufzeit für einen Umlauf oder Umlaufzeit, und s ein Korrekturfaktor mit  $s = 1 - (\Delta t/\Delta t)^2$ .

5

Fig. 3 zeigt den Signalverlauf eines einzelnen Ultraschallsignals S1, S2 und die Art und Weise der Bestimmung eines Empfangszeitpunktes bei einem solchen Signal. Dargestellt ist hier die sogenannte Zero-Crossing-Detektion (Nulldurchgangsdetektion). Dabei ist der "Empfangszeitpunkt" des Signals als der erste Nulldurchgang des Signals definiert, nachdem die Amplitude einen vorgegebenen Schwellenwert SW (den sogenannten pretrigger level) überschritten hat. Der Empfangszeitpunkt bei diesem Beispiel wäre somit der Zeitpunkt  $t_0$ .

Wegen des Rauschanteils R, der dem Signal überlagert ist, führt die Zero-Crossing-Detektion jedoch zu einer relativ hohen zeitlichen Unschärfe  $\Delta t$ , in der Pulsflankenerkennung.

Normalerweise ist die Unschärfe  $\Delta t$  so groß, dass mit einer einzigen Messung, insbesondere bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten, keine brauchbare Messgenauigkeit erreicht werden kann.

Zur Erhöhung der Messgenauigkeit wird daher vorzugsweise ein langgezogenes Ultraschallsignal an den Ultraschallwandlern erzeugt, wie es in Fig. 4 dargestellt ist. Beim Empfang eines solchen Signals S1, S2 am anderen Wandler werden dann mehrere Empfangszeitpunkte pro Ultraschallsignal detektiert. Bei einer Messung stehen somit mehrere Laufzeitinformationen zur Verfügung, aus denen ein Messwert mit höherer Genauigkeit bestimmt werden kann, wobei die Messdauer im Vergleich zu mehreren Einzelmessungen wesentlich geringer ist.

Fig. 4 zeigt die Signale P, S1, S2 nochmals in vergrößerter Darstellung, wobei das Erregersignal P im oberen Teil und das damit erzeugte Ultraschallsignal S1 bzw. S2 im unteren Teil der Fig. dargestellt ist. Wie zu erkennen ist, entspricht die Frequenz des Ultraschallsignals A1, B1 derjenigen des Erregersignals P. Das Ultraschallsignal A1, B1 hat außerdem

5 eine über mehrere Perioden im wesentlichen gleichbleibende maximale Amplitude.

In Bezug auf die Detektion der Signale S1, S2 ist die Steuer- und Auswerteschaltung 4 z.B. derart realisiert, dass bei  
10 jedem Nulldurchgang eines Ultraschallsignals S1 bzw. S2 (nachdem die Amplitude des Signals einen vorgegebenen Schwellenwert SW überschritten hat) ein Empfangszeitpunkt  $t_1-t_n$  detektiert wird.

15 Fig. 5 zeigt die Empfangszeitpunkte der Signale S1, S2 in der Reihenfolge ihres Eintreffens an den Ultraschallwandlern A, B. Das Signal S2 kommt in diesem Beispiel um mehrere Signalperioden früher am Wandler A an als das Signal S1 am Wandler B. Aus den zusammengehörigen Empfangszeitpunkten  
20  $t_1', t_1'', \dots, t_n', t_n''$  wird jeweils eine Laufzeitdifferenz  $\Delta t_1, \dots, \Delta t_n$  ermittelt. Hierzu sind üblicherweise n Zähler erforderlich, mit denen die Laufzeitunterschiede  $\Delta t_i$  zusammengehöriger Empfangsereignisse gezählt werden. Dies ist relativ aufwändig und kompliziert.

25 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Ultraschall-Strömungssensor bzw. ein entsprechendes Verfahren zu schaffen, mit dem die Laufzeiten zweier langgezogener Ultraschallsignale mit möglichst geringem technischen Aufwand bestimmt werden können. Dabei sollte die Bestimmung der Laufzeiten auch bei ungünstigen Strömungsbedingungen oder bei  
30 einer Umkehr der Strömungsrichtung möglich sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im  
35 Patentanspruch 1 sowie im Patentanspruch 9 angegebenen Merkmale gelöst. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, eine  
40 Steuer- und Auswerteeinheit mit zwei Zählern vorzusehen, von denen der erste die Anzahl der vollen Intervalle eines ersten

5 Signals (z.B. eines Referenzsignals oder eines ersten  
Ultraschallsignals) wenigstens bis zum ersten  
Empfangszeitpunkt eines Ultraschallsignals zählt, und der  
zweite Zähler jeweils die Zeitspanne zwischen jeweils einem  
ersten und einem zweiten von mehreren paarweise  
10 zusammengefassten Schalt- bzw. Empfangszeitpunkten der beiden  
Signale zählt. Dadurch, dass die Laufzeit bzw.  
Laufzeitdifferenz der Ultraschallsignale aus mehreren  
Zeitdauern ermittelt wird, die sich zeitlich nicht  
überlappen, kann die Laufzeit bzw. Laufzeitdifferenz mit nur  
15 zwei Zählern und folglich mit sehr geringem technischen  
Aufwand ermittelt werden.

Ein Ultraschall-Strömungssensor, der nach dem vorstehend  
beschriebenen Messprinzip arbeitet, kann auf unterschiedliche  
20 Art und Weise betrieben werden. Eine erste Möglichkeit  
besteht darin, an den beiden Ultraschallwandlern gleichzeitig  
je ein Ultraschallsignal auszusenden und die Laufzeit-  
differenz der Ultraschallsignale mittels der zwei Zähler zu  
messen. Ein zweite Möglichkeit besteht darin, zunächst nur an  
25 einem der Wandler ein Ultraschallsignal auszusenden und  
dessen Laufzeit unter Berücksichtigung eines Taktsignals zu  
messen, und danach die gleiche Laufzeitmessung am anderen  
Wandler durchzuführen.

30 Im Folgenden wird zunächst auf diejenige Betriebsart des  
Strömungssensors eingegangen, bei der die Ultraschallsignale  
gleichzeitig von den Wandlern ausgesendet werden. In diesem  
Fall zählt der erste Zähler die Anzahl der vollen Intervalle  
(definiert durch jeweils zwei aufeinander folgende  
35 Empfangszeitpunkte) des zuerst eintreffenden  
Ultraschallsignals wenigstens bis zum ersten  
Empfangszeitpunkt des später eintreffenden  
Ultraschallsignals, und der zweite Zähler jeweils die  
Zeitspanne zwischen jeweils einem ersten und einem zweiten  
40 von mehreren paarweise zusammengefassten Empfangszeitpunkten  
unterschiedlicher Ultraschallsignale.

5

Die paarweise zusammengefassten Empfangszeitpunkte (Empfangspaare), deren Zeitspanne vom zweiten Zähler gemessen wird, umfassen vorzugsweise jeweils einen Empfangszeitpunkt des einen Ultraschallsignals und einen unmittelbar darauf folgenden Empfangszeitpunkt des anderen Ultraschallsignals. Die Empfangspaare sind vorzugsweise derart ausgewählt, dass sie unmittelbar aufeinander folgen, ohne Auslassung einzelner Empfangszeitpunkte. Die Auswerte- und Steuereinheit bildet aus den gemessenen Zeitspannen zwischen den Empfangspaaren vorzugsweise einen Mittelwert. Aus dem Zählerstand des ersten Zählers und dem gemittelten Zählerstand des zweiten Zählers kann somit ein relativ genauer Wert für die Laufzeitdifferenz der Ultraschallsignale bestimmt werden.

20 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die paarweise Zuordnung jeweils zweier Empfangszeitpunkte gemäß folgender Regel durchgeführt: Die Steuer- und Auswerteeinheit prüft zunächst, ob der erste Empfangszeitpunkt des später eintreffenden Signals zeitlich 25 näher am vorhergehenden oder näher am folgenden Empfangszeitpunkt des zuerst eingetroffenen Ultraschall- signals als eine vorgegebene Zeitschwelle liegt, wobei der erste Zähler im ersten Fall die Zeitdauer (bzw. Anzahl der vollen Intervalle) vom ersten Empfangszeitpunkt des ersten 30 Signals bis zu demjenigen Empfangszeitpunkt des ersten Signals bestimmt, der dem ersten Empfangszeitpunkt des später eintreffenden Ultraschallsignals vorhergeht, und im anderen Fall bis zu demjenigen Empfangszeitpunkt des ersten Ultraschallsignals zählt, der dem ersten Empfangszeitpunkt 35 des später eintreffenden Ultraschallsignals folgt. Der erste Zähler zählt also die Anzahl der vollen Intervalle des ersten Ultraschallsignals bis zum ersten Empfangszeitpunkt des später eintreffenden Ultraschallsignals oder ein Intervall mehr, je nach Lage des ersten Empfangszeitpunkts des später 40 eintreffenden Ultraschallsignals im Intervall des ersten Ultraschallsignals.

5

Der zweite Zähler zählt vorzugsweise die Zeitdauern zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Empfangszeitpunkten unterschiedlicher Signale. (Die Reihenfolge der Empfangszeitpunkte, aus denen ein Empfangspaar gebildet wird, kann sich aufgrund von Signalverschiebung während der Messung ändern).

Die Laufzeitdifferenz wird im ersten Fall aus dem Zählerstand des ersten Zählers und einem Mittelwert des Zählerstands des zweiten Zählers durch Addition, im zweiten Fall durch Subtraktion gebildet, wobei die unterschiedliche Wertigkeit beider Zähler zu berücksichtigen ist. Die unterschiedliche Auswahl des ersten Empfangspaares in Abhängigkeit von der relativen Lage des ersten Empfangszeitpunkts des später ankommenden Ultraschallsignals hat den wesentlichen Vorteil, dass die Auswertung sehr robust gegenüber einem Signaljitter (Rauschen oder Zittern des Signals) oder turbulenter Strömung ist. Die Fehlerhäufigkeit wird somit wesentlich reduziert.

Der zweite Zähler ist vorzugsweise als Aufwärts/Abwärtszähler realisiert, der in Abhängigkeit von der Reihenfolge der paarweise zusammengefassten Empfangszeitpunkte die Zählrichtung ändert und entweder aufwärts oder abwärts zählt. Auf diese Weise können insbesondere Verschiebungen in den langgezogenen Ultraschallsignalen z.B. aufgrund von turbulenter Strömung, berücksichtigt werden.

Vorzugsweise kann auf eine explizite Addition oder Subtraktion beider Zählerstände verzichtet werden, indem der erste Zähler ebenfalls als Aufwärts/Abwärtszähler realisiert wird, der bei Überschreiten der Zählergrenzen des zweiten Zählers einen Übertrag in positiver oder negativer Richtung vom zweiten Zähler erhält.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung akkumuliert der zweite Zähler die Zeitspannen von p Paaren

5 von Empfangszeitpunkten, wobei  $p$  eine Zweierpotenz ist. Der  
Mittelwert des Zählerstandes des zweiten Zählers ergibt sich  
dann nach einer Division durch  $p$ . Wenn  $p$  als Zweierpotenz  
gewählt wurde, kann der Mittelwert in einfacher Weise durch  
eine Schieberegisteroperation gebildet werden, bei welcher  
10 die Kommastraße um  $\log_2 p$  Stellen verschoben wird.

15 Im Folgenden wird nun auf diejenige Betriebsart des  
Strömungssensors eingegangen, bei der die Ultraschallsignale  
nacheinander ausgesendet und die Signallaufzeiten unter  
Berücksichtigung eines Referenzsignals ermittelt werden. Wie  
auch in der ersten Betriebsart wird ein langgezogenes  
Ultraschallsignal mittels eines Taktsignals (Erregersignals)  
erzeugt. Dieses Taktsignal kann selbst als Referenzsignal  
dienen. Alternativ kann aus dem Taktsignal das Referenzsignal  
20 abgeleitet werden, indem sowohl bei den positiven als auch  
negativen Flanken des Taktsignals ein Spannungspuls mit einer  
definierten Flanke (z.B. positiv) erzeugt wird. Das  
Ultraschallsignal wird zunächst nur von einem der Wandler  
ausgesendet und am anderen Wandler empfangen.

25 Der erste Zähler zählt dann die Anzahl der vollen Intervalle  
des Referenzsignals wenigstens bis zum ersten  
Empfangszeitpunkt des eintreffenden Ultraschallsignals, und  
der zweite Zähler jeweils die Zeitspanne zwischen jeweils  
30 einem ersten und einem zweiten von mehreren paarweise  
zusammengefassten Schalt- bzw. Empfangszeitpunkten der  
Signale. Der erste Zähler zählt also die Anzahl der vollen  
Taktperioden, und der zweite Zähler die Restzeit bis zum  
Eintreffen des Ultraschallsignals unter Berücksichtigung  
35 mehrerer Taktflanken-Empfangszeitpunkt-Paare (Empfangspaare).  
Das Ergebnis dieser Messung ist die Laufzeit des  
Ultraschallsignals in der einen Richtung. Danach wird die  
Laufzeit eines Ultraschallsignals in der anderen Richtung  
gemessen und aus den beiden Laufzeiten die gesuchte Messgröße  
40 berechnet.

5 Die vorstehend bezüglich der ersten Betriebsart aufgeführten Ausführungsmöglichkeiten gelten in entsprechender Weise auch für die zweite Betriebsart.

Bei der Detektion eines Empfangsereignisses (z.B. 10 Nulldurchgangs) eines Ultraschallsignals wird in der Auswerteschaltung üblicherweise eine digitales Signal gesetzt (z.B. von low auf high), das den genauen Empfangszeitpunkt des Empfangsereignisses anzeigt. Die Flanke dieses Signals ist mit einer Zeitungenauigkeit (jitter) behaftet. Bei der 15 Abtastung des Signal kommt es zu Aliasing-Effekten, wenn die Taktrate des Abtastsignals nicht ausreichend hoch gewählt wird (Nyquist-Kriterium). Gemäß der Erfindung wird vorgeschlagen, das elektrische Signal mit einer Abtastrate abzutasten, die deutlich höher ist als der Kehrwert der 20 Zeitungenauigkeit eines Empfangsereignisses. Dadurch kann die Genauigkeit der Strömungsmessung wesentlich erhöht werden.

25 Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein typisches Beispiel eines Ultraschall-Strömungssensors mit zwei Ultraschallwandlern gemäß dem Stand der Technik;

30 Fig. 2 einen Ultraschall-Strömungssensor mit einer zugehörigen Steuer- und Auswerteschaltung;

Fig. 3 ein typisches Ultraschallsignal gemäß dem Stand der Technik und die Detektion des Empfangszeitpunkts;

35 Fig. 4 ein langgezogenes Ultraschallsignal mit mehreren zur Zeitmessung genutzten Nulldurchgängen;

Fig. 5 die Ermittlung von n Differenzlaufzeiten mittels 40 n Zählern;

5 Fig. 6 die Ermittlung der Differenzlaufzeit der  
Ultraschallsignale mittels zweier Zähler gemäß einer ersten  
Ausführungsform der Erfindung;

10 Fig. 7 eine Steuer- und Auswerteschaltung für die Bestimmung  
der Laufzeitdifferenz gemäß Fig. 6;

15 Fig. 8 die Bestimmung der Laufzeitdifferenz zweier  
Ultraschallsignale gemäß einer anderen Ausführungsform der  
Erfindung;

20 Fig. 9 eine Steuer- und Auswerteeinheit für die Bestimmung  
der Laufzeitdifferenz zweier Ultraschallsignale gemäß dem  
Verfahren von Fig. 8;

25 Fig. 10 ein Beispiel einer fehlerhaften Auswertung der  
Laufzeitdifferenz bei sich verschiebenden  
Empfangszeitpunkten;

30 Fig. 11 die Auswertung der Laufzeitdifferenz bei zwei  
ungleichmäßigen Ultraschallsignalen gemäß einer bevorzugten  
Ausführungsform der Erfindung;

35 Fig. 12 eine Steuer- und Auswerteschaltung zur Bestimmung der  
Laufzeitdifferenz zweier Ultraschallsignale gemäß dem  
Verfahren von Fig. 11;

40 Fig. 13 eine schematische Darstellung eines einzelnen  
Empfangsereignisses;

45 Fig. 14 ein Abtastsignal mit niedrigerer und höherer  
Frequenz; und

50 Fig. 15 die Normalverteilung der Zeitgenauigkeit bei der  
Detektion einzelner Empfangsereignisse.

5 Bezuglich der Erläuterung der Fig. 1 bis 5 wird auf die  
Beschreibungseinleitung verwiesen.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für den zeitlichen Verlauf der an  
den Ultraschallwandlern A,B empfangenen Ultraschallsignale  
10 S1,S2, die gleichzeitig am jeweils anderen Wandler B,A  
ausgesendet wurden. Die positiven Flanken der digitalen Pulse  
A1-An bzw. B1-Bn kennzeichnen jeweils den Empfang eines  
Nulldurchgangs der Ultraschallsignale S1 bzw. S2 zu den  
Zeitpunkten  $t_i'$  bzw.  $t_i''$ . Der Laufzeitunterschied  $\Delta t$  der  
15 beiden Ultraschallsignale S1,S2 ist gleich der Zeitdauer vom  
Puls A1 bis zum Puls B1.

Der Laufzeitunterschied kann ausgedrückt werden als eine  
Zeitdauer  $\Delta t'$  von Puls A1 bis A3 plus ein Restwert  $\Delta t''$   
20 zwischen den Pulsen A3 und B1, wobei gilt  $\Delta t = \Delta t' + \Delta t''$ . Um  
den statistischen Messfehler zu verringern, werden hier  
möglichst viele Nulldurchgänge der Signale S1,S2  
berücksichtigt und mehrere Rest-Zeitdauern  $\Delta t''$  gemessen, die  
schließlich gemittelt werden. Der Laufzeitunterschied  $\Delta t$  der  
25 Ultraschallsignale S1,S2 ergibt sich somit aus dem Wert von  
 $\Delta t'$  und dem Mittelwert der Zeiten  $\Delta t_i''$ .

Die Dauer der Zeiten  $\Delta t'$  bzw.  $\Delta t_i''$  kann in einfacher Weise  
mittels zweier Zähler 5a,5b gemessen werden. Der erste Zähler  
30 5a zählt dabei die Dauer der vollen Intervalle (ein Intervall  
entspricht der Dauer zwischen zwei aufeinander folgenden  
Pulsen, z.B. A1,A2, des selben Ultraschallsignals) bis zum  
Eintreffen des ersten Pulses B1 des später ankommenden  
Ultraschallsignals S1. Der Zählerstand des ersten Zählers 5a  
35 bildet dabei eine grobe Abschätzung der Laufzeitdifferenz  $\Delta t$   
der beiden Ultraschallsignale S1,S2.

Ein zweiter Zähler misst jeweils fortlaufend die Zeitspannen  
 $\Delta t_i''$  zwischen jeweils zwei paarweise zusammengefassten Pulsen  
40 A4,B2;A5,B3; etc. und summiert dadurch gleichzeitig die  
Messwerte. Die Pulspaare sind dabei unmittelbar aufeinander

5 folgend gewählt. Aus dem endgültigen Zählerwert wird schließlich ein Mittelwert gebildet, der zum Zählerstand des ersten Zählers 5a hinzu addiert wird. Bei Verwendung digitaler Zähler 5a, 5b bildet der Zählerstand des ersten Zählers 5a vorzugsweise die höherwertigen Bits (hsb: high 10 significant bits) und der Zählerstand des zweiten Zählers die niederwertigen Bits (lsb: least significant bits). Unter den zwei Voraussetzungen, dass erstens die Bitbreiten des ersten Zählers 5a und des zweiten Zählers 5b richtig aneinander angepasst sind und zweitens die Ultraschallfrequenz mittels 15 Teilung durch eine 2er-Potenz aus dem Zählertakt des lsb-Zählers erzeugt wurde, können die lsb-Bits des zweiten Zählers direkt an die hsb-Bits des ersten Zählers angefügt und zu einer einzigen Binärzahl zusammengesetzt werden, die proportional zur Laufzeitdifferenz  $\Delta t$  ist.

20 Der Zählerstand des zweiten Zählers 5b kann darüber hinaus besonders einfach gemittelt werden, wenn insgesamt  $p$  Messungen von  $p$  Intervallen  $\Delta t_i$  durchgeführt werden und die Anzahl  $p$  eine Zweierpotenz ist. In diesem Fall entspricht die 25 Mittelung des binären Zählerwerts (Teilung durch  $p$ ) gleich einer Schieberegisteroperation um  $\log_2 p$ , bei der die Kommastelle um  $\log_2 p$ -Stellen nach links verschoben wird. Im dargestellten Beispiel von Fig. 6 werden  $p = 2^5 = 32$  Messungen von  $\Delta t_i$  durchgeführt und somit die Kommastelle um 30 5 Bit nach links verschoben. Die endgültige Laufzeitdifferenz  $\Delta t$  ergibt sich somit aus dem Zählerstand des ersten Zählers, 5a und den höherwertigen Bits (hier 10 Bit) des zweiten Zählers 5b in Einheiten der Periodendauer des lsb-Zählertaktes, wobei die 5 niederwertigen Bits des zweiten 35 Zählers entsprechende Nachkommastellen sind.

Alternativ zur Darstellung von Fig. 6 könnte die Laufzeitdifferenz  $\Delta t$  der Signale S1, S2 auch als Differenz der Zeitspannen [A1 bis A4] und [B1 bis A4] dargestellt werden. 40 Der erste Zähler 5a müsste ein Intervall mehr als bis zum Eintreffen des ersten Pulses B1, also von A1 bis A4 zählen,

5 und der zweite Zähler 5b jeweils die Intervalle zwischen B2,A5;B3,A6; etc.. Hierbei gilt:  $\Delta t = t[A1,A4] - t[B1,A4]$ .

In einer zweiten Betriebsart des Ultraschall-Strömungssensors, in der die Ultraschallsignale S1,S2 nicht gleichzeitig, sondern nacheinander ausgesendet werden, gelten die gleichen Grundsätze, wie sie bezüglich der Fig. 6 bis 15 beschrieben werden. In diesem Fall wird jedoch zunächst die Laufzeit  $\Delta t$  eines Ultraschallsignals (z.B. S1) in einer Richtung und danach die Laufzeit  $\Delta t$  eines Ultraschallsignals (z.B. S2) in der Gegenrichtung unter Berücksichtigung eines Referenzsignals (P) gemessen. In Fig. 6,8,10 oder 11 wäre das Signal S2 als das Referenzsignal P zu betrachten, welches aus dem selben Taktsignal abgeleitet wurde, mit dem das langgezogene Ultraschallsignal S1 erzeugt wurde, wobei die Empfangzeitpunkte A1 in diesem Fall Schaltzeitpunkte (z.B. positive Flanken) des Referenzsignals P wären. (Auf eine separate Darstellung wurde daher verzichtet).

Der erste Zähler 5a zählt wie in der ersten Betriebsart die Anzahl der vollen Intervalle des Referenzsignals P wenigstens bis zum ersten Empfangszeitpunkt B1 des eintreffenden Ultraschallsignals S1, und der zweite Zähler 5b misst jeweils die Zeitspanne  $\Delta t_i$  zwischen jeweils einem ersten und einem zweiten von mehreren paarweise zusammengefassten Schalt- bzw. Empfangszeitpunkten Ai,Bi der Signale P,S1. Der erste Zähler zählt also die Anzahl der vollen Perioden des Referenzsignals und der zweite Zähler die Restzeit  $\Delta t_i$  bis zum Eintreffen des Ultraschallsignals. Das Ergebnis dieser Messung ist die Laufzeit  $\Delta t$  des Ultraschallsignals S1. Danach wird die Laufzeit des Ultraschallsignals S2 in der anderen Richtung gemessen und aus den beiden Laufzeiten  $\Delta t$  die gesuchte Messgröße berechnet.

Fig. 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Steuer- und Auswerteschaltung 4 mit zwei digitalen Zählern 5a,5b zur Bestimmung der Laufzeitdifferenz  $\Delta t$ . Die Schaltung hat die

5 Eingänge Input A für das Signal S2 und Input B für das Signal S1. Das Schaltungsmodul 6 erhält die Pulse Ai und Bi von den Wählern A,B an den Eingängen "Input A" bzw. "Input B", lässt die zuerst ankommenden Pulse (hier A1-A3) bis auf den ersten Puls überhaupt durch (d.h. hier: A2-A3) und gibt diese an den 10 ersten Zähler 5a weiter, bis am anderen Eingang "Input B" der erste Puls (hier B1) des später ankommenden Ultraschall-signals S1 eintrifft. Der erste Zähler zählt somit bis 2 (zwei volle Intervalle) und hört danach auf zu zählen. Der Zählerstand hsb des ersten Zählers 5a ist mit dem 15 Bezugszeichen 14 gekennzeichnet. Die Zählrate des ersten Zählers 5a entspricht der Frequenz der Ultraschallsignale S1,S2.

Nach dem Eintreffen der ersten Pulses B1 des Signals S1 20 aktiviert das Modul 6 ein zweites Modul 7 mittels eines Signals "enable". Das zweite Modul 7 erhält ebenfalls die Pulse Ai,Bi an den Eingängen "Input A" bzw. "Input B" und aktiviert jeweils den zweiten Zähler 5b während der Zeitspannen A4,B2;A5,B3, etc. (Der Ausgang "Cnt enable" wird 25 dann high). Der Ausgang "cnt enable" ist mit einem AND-Gatter 10 verbunden, dessen Ausgang mit dem Takteingang Clk des zweiten Zählers 5b verbunden ist. Der zweite Zähler 5b zählt somit mit der am Eingang 16 zugeführten Taktrate "clock" aufwärts, solange der Ausgang "cnt enable" des zweiten Moduls 30 7 high ist und die Anzahl der gemessenen Intervalle  $\alpha_i$  kleiner ist als eine vorgegebene Anzahl von Intervallen,  $\alpha_i'$ , die am Eingang 11 vorgegeben werden kann. Die Anzahl der bereits gemessenen Intervalle  $\alpha_i$  wird vom Zähler 12 gezählt, der mit dem Ausgang "cnt enable" des zweiten Moduls 35 7 verbunden ist. Der invertierte Ausgang eines Flip-Flops 9 ist solange high, bis die gemessene Anzahl der Intervalle  $\alpha_i$  gleich der am Eingang 11 vorgegebenen Anzahl von Intervallen ist. Die Gleichheit der Anzahl wird von einem Logikgatter 8 erkannt, das das Flip-Flop 9 setzt. Der 40 invertierte Ausgang IQ geht somit in den Zustand low und der zweite Zähler 5b hört auf zu zählen. Der Zählerstand lsb des

5 zweiten Zählers 5b wird schließlich am Ausgang 13 ausgelesen und kann, wie vorstehend beschrieben, durch eine Schieberegisteroperation gemittelt werden. Die Schaltung wird über den Eingang "start" zurückgesetzt, so dass eine neue Messung beginnen kann.

10 Sofern die Messung gemäß der vorstehend beschriebenen zweiten Betriebsart durchgeführt wird, erhalten die Module 6,7 z.B. am Eingang "Input A" anstelle des Wandler-Ausgangssignals S2 das Referenzsignal P. Die Schaltung von Fig. 7 arbeitet  
15 ansonsten in gleicher Weise wie in der ersten Betriebsart.

Fig. 8 zeigt zwei an den Wendlern A,B empfangene Ultraschallsignale S1,S2, deren Empfangszeitpunkte A1-A8 bzw. B1-B6 sich im Verlauf der Signale S1,S2 gegeneinander  
20 verschieben. Eine derartige Signalverschiebung kann insbesondere durch turbulente Strömungsverhältnisse hervorgerufen werden, die einen Signaljitter (zeitliches Rauschen oder Zittern) im Signal S1,S2 bewirken. Dadurch kann sich auch die Reihenfolge der einzelnen Pulse A1-A8 gegenüber  
25 den Pulsen B1-B6 vertauschen. Bei einer Auswertung der Intervalle  $\Delta t_i$  gemäß dem Verfahren von Fig. 6 würde der zweite Zähler 5b die Intervalle A4,B2;A5,B4;A6,B5, etc. und damit falsche Intervalle auswerten, wodurch ein erheblicher Messfehler entstehen würde.

30 Gemäß dem in Fig. 8 dargestellten Verfahren wird daher vorgeschlagen, die Pulse Ai des ersten Signals S2 und die Pulse Bi des zweiten Signals S1 wiederum jeweils paarweise zusammenzufassen, so dass aus jeweils zwei aufeinander  
35 folgenden Pulsen Ai,Bi unterschiedlicher Signale ein Pulspaar gebildet wird, und jedem Pulspaar A4,B2;B3,A5; etc. ein Vorzeichen (+/-) gemäß der Reihenfolge des Auftretens der beiden Pulse Ai,Bi zuzuordnen. Der zweite Zähler 5b wird dann abhängig von diesem Vorzeichen (+/-) während der zugehörigen  
40 Zeitdauer  $\Delta t_i$  eines Pulspaares Ai,Bi entweder hoch- oder heruntergezählt. Die einzelnen Zählwerte für die Zeiten  $\Delta t_i$

5 werden vom zweiten Zähler 5b vorzugsweise akkumuliert. Überschreitet der Zählerstand des zweiten Zählers 5b die Zählergrenzen des Zählers 5b (entweder 0 oder den durch die Bitbreite des Zählers gegebenen maximalen Zählerstand) erfolgt ein Übertrag an den ersten Zähler 5a, d.h. der erste 10 Zähler 5a wird um eins hoch- oder heruntergezählt.

Nach Auswertung von  $p$  Zeitintervallen  $\Delta t_i$  wird der Zählerstand lsb des zweiten Zählers 5b wiederum gemittelt. Sofern  $p$  eine Zweierpotenz ist, können die Zählerstände des 15 hsb-Zählers 5a und des lsb-Zählers 5b ohne weitere arithmetische Operation einfach zu einer einzelnen Binärzahl zusammengefügt werden, wie dies in Fig. 8 unten dargestellt ist, wobei die Binärzahl dann proportional zur Laufzeitdifferenz oder Durchflussrate ist.

20 Fig. 9 zeigt eine Ausführungsform einer Auswerteeinheit 4 zur Durchführung des vorstehend bezüglich Fig. 8 beschriebenen Verfahrens. Die Erzeugung der Ultraschallsignale S1, S2 aus dem Takt eines Quarzoszillators sowie die Ablaufsteuerung des 25 gesamten Messvorgangs wurden dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen.

Die Auswerteschaltung ist in wesentlichen Teilen identisch 30 aufgebaut wie die Auswerteschaltung von Fig. 7, auf die hier verwiesen wird. Die von den Wandlern A, B erzeugten elektrischen Pulse  $A_i, B_i$  werden an den Eingängen "Input A" und "Input B" der Module 6 und 7 eingespeist. Das Schaltungsmodul 7 lässt die zuerst ankommenden Pulse bis auf 35 den aller ersten (hier A2-A3) durch und gibt entsprechende Signale an den ersten Zähler 5a weiter, bis der erste Puls B1 des anderen Ultraschallsignals S1 eintrifft. Die Zählrichtung des ersten Zählers 5a wird vom Modul 6 über den Ausgang +/- vorgegeben. (Die Zählrichtung ist positiv oder negativ, je nachdem, welches Signal S1, S2 zuerst ankommt).

5 Das Modul 7 erkennt ebenfalls die Reihenfolge der Pulse  $A_i, B_i$  eines Pulspaars  $A_i, B_i$  und gibt entsprechend für jedes Pulspaar individuell entweder ein positives oder ein negatives Vorzeichen am Ausgang  $+/ -$  aus. Das Vorzeichen wird über ein XOR-Glied 17 und ein NOT-Glied 18 an den zweiten  
10 Zähler 5b geleitet, der entsprechend aufwärts oder abwärts zählt. Der Takt "clock" am Eingang 16 gelangt, wie bereits zu Fig. 7 beschrieben wurde, nur während der Zeitintervalle  $\alpha_i''$  über das AND-Gatter 10 zum zweiten Zähler 5b. Der Takt "clock" wird während der Zeitintervalle  $\alpha_i''$  vom Modul 7 am  
15 Ausgang "Cnt enable" freigegeben und gelangt somit zum zweiten Zähler 5b.

Fig. 10 zeigt zwei nacheinander an den Ultraschallwendlern A bzw. B ankommende Ultraschallsignale  $S_2$  bzw.  $S_1$ , deren  
20 Nulldurchgänge nicht gleichmäßig an den Wendlern A, B ankommen, sondern gegeneinander verschoben sind. Die Pulse  $A_1-A_8$  bzw.  $B_1-B_8$  treffen dabei zeitlich so an den Ultraschallwendlern A, B ein, dass sich die Intervalle  $\alpha_i''$  der Pulspaare  $A_5, B_3$  und  $A_6, B_4$  zeitlich überlappen. Zeitlich  
25 überlappende Intervalle  $\alpha_i''$  können jedoch nicht von einem einzigen Zähler gezählt werden. Es kommt daher zu einem Auswertefehler, wie anhand der Zählerstände  $hsb$  und  $lsb$  des ersten 5a bzw. zweiten Zählers 5b zu erkennen ist.

30 Der erste Zähler 5a zählt, wie bisher, die Anzahl der vollen Intervalle (von  $A_1-A_3$ ) des zuerst ankommenden Signals  $S_2$ , bis zum Eintreffen des ersten Pulses  $B_1$  und hört danach auf zu zählen. Der endgültige Zählerstand des ersten Zählers 5a ist daher  $hsb = 2$ . Der zweite Zähler 5b zählt dann während des  
35 Intervalls  $A_4, B_2$  z.B. um 8 Zähler, während des Intervalls  $A_5, B_3$  um weitere 9 Zähler nach oben, überspringt den Puls  $A_6$  und zählt dann wieder im Intervall  $A_7, B_4$  um 2 Zähler nach oben, so dass der Gesamtzählerstand  $lsb = 19$  ist.  
40 Der Grund für die fehlerhafte Auswertung liegt in diesem Fall darin, dass der erste Puls  $B_1$  des Signals  $S_1$  erst kurz vor

5 dem nächsten Signal A4 des anderen Signals S2 eintrifft und bereits durch eine geringe Signalverschiebung überlappende Zeitdauern (A5,B3 und A6,B4) erzeugt werden.

Fig. 11 zeigt ein verbessertes Auswerteverfahren, bei dem  
10 derartige zeitliche Überlappungen vermieden werden können. Hierzu prüft die Auswerteeinheit 4, ob der erste Puls B1 des später eintreffenden Ultraschallsignals S1 zeitlich näher am vorhergehenden Puls A3 oder näher am nachfolgenden Puls A4 des anderen Signals S2 liegt. Eine Zeitschwelle  $ts$ , die in  
15 diesem Beispiel in der Mitte des Intervalls A3,A4 liegt, dient in diesem Fall als Vergleichsmaßstab. Je nach Lage des ersten Empfangszeitpunkts B1 des später eintreffenden Ultraschallsignals S1 im Intervall des ersten Ultraschall-  
signals S2, zählt der erste Zähler 5a die Anzahl der vollen  
20 Intervalle bis zum ersten Empfangszeitpunkt B1 oder ein Intervall mehr. Für die Auswertung gilt entweder  $\alpha t = \alpha t_1' + \alpha t_1''$  (nicht gezeigt, vergleichbar z.B. mit Fig. 6) oder  $\alpha t = \alpha t' - \alpha t''$ , wobei  $\alpha t'$  drei Intervalle umfassen würde.

25

Im ersten Fall (der Puls B1 liegt zeitlich vor  $ts$ , nicht  
gezeigt, vergleichbar z.B. mit Fig. 8) zählt der erste Zähler 5a die Anzahl der vollen Intervalle bis zum Eintreffen des ersten Pulses B1. Danach werden alle weiter folgenden Pulse  
30 entsprechend der Reihenfolge ihres Eintreffens als Pulspaare  $A_i, B_i$  interpretiert, deren zugeordnete Zeitintervalle  $[A_i, B_i]$  vom zweiten Zähler 5b gemessen werden. In Fig. 8. z.B. ist A4,B2 das erste dieser Pulspaare. Dieses Verfahren entspricht dem Verfahren von Fig. 8 oder Fig. 10. Der Zählerstand des  
35 ersten Zählers 5a und des zweiten Zählers 5b werden (nach einer Mittelung) schließlich unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wertigkeiten der beiden Zähler addiert bzw. einfache zusammengesetzt.

40 Im zweiten Fall (der erste Puls B1 kommt zeitlich nach der Zeitschwelle  $ts$  an) zählt der erste Zähler 5a ein Intervall

5 weiter, d.h. alle vollen Intervalle  $[A_i, A_{i+1}]$  bis einschließlich des Intervalls  $[A_3, A_4]$  des Signals S2, in das der erste Puls B1 des späteren Ultraschallsignals S1 fällt. Der Zählerstand hsb des ersten Zählers 5a zählt hier somit bis drei. Ab diesem Zeitpunkt werden wiederum alle weiteren 10 Pulse in der Reihenfolge ihres Eintreffens als Paare  $A_i, B_i$  einander zugeordnet. Im Beispiel in Fig. 11. ist also B2, A5 das erste dieser Pulspaare. Der zweite Zähler 5b zählt dann wiederum während der Zeitdauer eines Pulspaars  $A_i, B_i$ , wobei der Zählerstand in Abhängigkeit von der Reihenfolge der Pulse 15  $A_i, B_i$  entweder aufwärts oder abwärts gezählt wird

Pulspaare in der Reihenfolge  $B_i, A_i$  werden abwärts und Pulspaare in der Reihenfolge  $A_i, B_i$  aufwärts gezählt. Der Zählerstand lsb des zweiten Zählers 5b wird daher zunächst 20 negativ (z.B.  $lsb = -2$ ), zählt während des zweiten Intervalls A6, B3 dann zurück auf 0 und während des dritten Intervalls A7, B4 um 2 Zähler nach oben auf z.B.  $lsb = 2$ . Der erste Zähler 5a erhält bei Überschreiten der Zählergrenzen des zweiten Zählers 5b jeweils einen Übertrag und zählt somit 25 zunächst zurück auf einen Zählerstand  $hsb = 2$  und danach wieder auf einen Zählerstand  $hsb = 3$ .

Fig. 12 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Steuer- und Auswerteschaltung 4, die nahezu identisch aufgebaut ist wie 30 die Auswerteschaltung von Fig. 9. Wie auch bei den Fig. 7 und 9 wurde die Erzeugung der Ultraschallsignale S1, S2 aus dem Takt eines Quarzoszillators, sowie die Ablaufsteuerung aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen. Gleiche Bestandteile sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

35 Im Unterschied zu Fig. 9 umfasst das Modul 6 der Auswerteschaltung von Fig. 12 einen zusätzlichen Takteingang "clock", der eine zusätzliche Zeitmessung ermöglicht, um zu entscheiden, ob der erste Puls B1 des später ankommenden 40 Ultraschallsignals S1 vor oder nach der in Fig. 11 eingezeichneten Zeitschwelle  $ts$  eintrifft. Zu Zwecken der

5 Zeitmessung kann z.B. wiederum ein Zähler vorgesehen sein, der im Modul 6 integriert sein kann. Der Ausgang "enable" des Moduls 6 wird somit je nach Lage des ersten Empfangszeitpunkts B1 des Signal S1 früher oder später aktiv.

10 Fig. 13 zeigt ein internes Signal der Auswerteschaltung 4, das bei der Detektion eines Empfangsereignisses (z.B. eines Nulldurchganges) eines empfangenen Ultraschallsignals S1, S2 von low auf high geschaltet wird. Der Zeitpunkt der steigenden Signalflanke hat aufgrund von Signaljitter 15 (Signalzittern bzw. -rauschen) eine gewisse Zeitgenauigkeit  $\alpha t_j$ .

Figur 15 zeigt die jitter-bedingte Häufigkeitsverteilung des detektierten Zeitpunkts für den Nulldurchgang im Falle 20 mehrerer nacheinander durchgeföhrter Messungen. Die Standardabweichung ist dabei mit  $+/-\alpha t_j$  angegeben. Die Häufigkeitsverteilung kann z.B. einer Normalverteilung mit der entsprechenden Charakteristik einer Gauss-Funktion entsprechen.

25 Das interne Detektionssignal von Fig. 13 wird üblicherweise mit einem hochfrequenten Takt abgetastet, wie er in Fig. 14 oben dargestellt ist. Dieser Takt entspricht dem Takt am clock-Eingang in Fig. 9. Und Fig. 12. Wird ein Taktsignal mit 30 einer relativ niedrigen Frequenz  $f_1$  gewählt, kann sich bei der Laufzeitmessung ein relativ hoher Aliasing-Fehler ergeben. Das Empfangsereignis wird in diesem Fall erst nach einer Zeit  $\alpha t_a$  von der Auswerteschaltung 4 erfasst. Zur Vermeidung von Aliasing-Fehlern wird vorgeschlagen, ein 35 Abtastsignal mit einer Frequenz  $f_2$  (siehe Fig. 14 unten) zu verwenden, die deutlich höher ist als der Kehrwert der Zeitgenauigkeit (jitter) bei der Detektion einzelner Empfangsereignisse. Die Genauigkeit der Messung kann durch diese Überabtastung weiter erhöht werden, obwohl die 40 Streubreite  $+/-\alpha t_j$  der Häufigkeitsverteilung der Eingangsmessgrößen gemäss Fig. 15. unverändert groß bleibt.

5

Durch die vorstehend beschriebenen Verfahren zur Pulsauswertung kann die Messgenauigkeit eines Ultraschall-Strömungssensors wesentlich verbessert und insbesondere Fehlmessungen verhindert werden.

## 10 Bezugszeichenliste

1	Fluid
2	Strömungsrichtung
3	Rohrleitung
15	4 Steuer- und Auswerteschaltung
5a	erster Zähler
5b	zweiter Zähler
6	Modul zur Ansteuerung des ersten Zählers
7	Modul zur Ansteuerung des zweiten Zählers
20	8 Vergleichsgatter
9	RS-Flip-Flop
10	AND-Gatter
11	Anzahl der Pulspaare
12	Pulspaar-Zähler
25	13 Zählerstand lsb
14	Zählerstand hsb
15	Ready-Ausgang
16	Takteingang
17	XOR-Gatter
30	18 NOT-Gatter
19	OR-Gatter
20	Nulldurchgangssignal
t <sub>1'</sub>	Empfangszeitpunkt des zuerst ankommenden Signals S <sub>2</sub>
35	t <sub>i''</sub> Empfangszeitpunkte des später ankommenden Signals S <sub>1</sub>
at'	grobe Abschätzung der Laufzeitdifferenz
at <sub>i''</sub>	Zeitintervall eines Pulspaars
at	Laufzeitdifferenz
40	A <sub>i</sub> Pulse des zuerst ankommenden Signals S <sub>2</sub>
	B <sub>i</sub> Pulse des später ankommenden Signals S <sub>1</sub>

## 10 Patentansprüche

1. Ultraschall-Strömungssensor, insbesondere zum Messen des Volumen- oder Massestroms eines Fluids (1), das durch eine Rohrleitung (3) strömt, mit zwei in Strömungsrichtung (2) versetzt angeordneten Ultraschallwandlern (A,B) die jeweils ein periodisches Ultraschallsignal (S1,S2) an den anderen Ultraschallwandler (A,B) aussenden, und einer Steuer- und Auswerteschaltung (4), die bei Empfang eines Ultraschallsignals (S1,S2) an einem der Ultraschallwandler (A,B) mehrere Empfangszeitpunkte ( $t_i', t_i''$ ) pro Ultraschall-signal (S1,S2) detektiert, aus denen eine Messgröße (S) gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Auswerteeinheit (4) wenigstens zwei Zähler (5a,5b) umfasst, von denen der erste (5a) die vollen Intervalle ( $[t_i', t_{i+1}']$ ) eines ersten Signals (S2,P) wenigstens bis zum ersten Empfangszeitpunkt ( $t_2''$ ) eines Ultraschallssignals (S1) zählt, und der zweite Zähler (5b) jeweils eine Zeitspanne ( $\alpha t''$ ) zwischen einem ersten (A4) und einem zweiten (B2) von mehreren paarweise zusammengefassten Schalt- bzw. Empfangszeitpunkten ( $t_i', t_i''$ ) der Signale (S1,S2,P) ermittelt.
2. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Signal (S2,P) bei einer ersten Betriebsart ein Ultraschallsignal (S2) ist, das gleichzeitig mit dem anderen Ultraschallsignal (S1) ausgesendet wird, oder bei einer zweiten Betriebsart ein Referenzsignal (P) ist, das aus dem selben Taktsignal erzeugt wird aus dem auch das Ultraschallsignal (S1) erzeugt wird.

5 3. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass die paarweise zusammengefassten  
Empfangszeitpunkte ( $t_i'$ ,  $t_i''$ ) jeweils einen Schalt- bzw.  
Empfangszeitpunkt (Ai) des Signals (S2,P) und einen darauf  
folgenden Empfangszeitpunkt (Bi) des Ultraschallsignals (S1)  
10 umfassen.

4. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 1,2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und Auswerte-  
schaltung (4) prüft, ob der erste Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) des  
15 Ultraschallsignals (S1) zeitlich näher am vorhergehenden  
( $t_3'$ ) oder am folgenden Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_4'$ )  
des Signals (S2,P) als eine vorgegebene Zeitschwelle ( $t_0$ )  
liegt, wobei im ersten Fall der erste Zähler (5a) die  
Zeitdauer ( $\Delta t'$ ) vom ersten Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt  
20 ( $t_1'$ ) bis zu demjenigen Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_3'$ )  
des Signals (S2,P) zählt, der dem Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) des  
Ultraschallsignals (S1) vorhergeht, und im anderen Fall bis  
zu demjenigen Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_4'$ ) zählt, der  
dem ersten Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) des Ultraschallsignals  
25 (S1) folgt.

5. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Zähler  
(5b) ein Aufwärts/Abwärtszähler ist, der in Abhängigkeit von  
30 der Reihenfolge von paarweise zusammengefassten  
Empfangszeitpunkten ( $t_i'$ ,  $t_i''$ ) bzw. ( $t_i''$ ,  $t_i'$ ) entweder aufwärts  
oder abwärts zählt.

6. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 5, dadurch  
35 gekennzeichnet, dass der erste Zähler (5a) ein  
Aufwärts/Abwärtszähler ist, der sowohl einen positiven als  
auch einen negativen Übertrag vom zweiten Zähler (5b)  
erhalten kann.

40 7. Ultraschall-Strömungssensor nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Zähler die

5 Zeitdauer ( $\Delta t''$ ) der Intervalle akkumuliert, die von p Paaren von Empfangszeitpunkten ( $t_i', t_i''$ ) gebildet werden, wobei p eine Zweierpotenz ist.

8. Ultraschall-Strömungssensor nach Anspruch 7, dadurch  
10 gekennzeichnet, dass nach einer Messung der Zeitdauer der aus p Paaren gebildeten Intervalle der Zählerstand des zweiten Zählers (5b) durch eine Schieberegisteroperation oder durch Weglassen von Binärstellen oder durch eine geänderte Interpretation der Wertigkeit der Binärstellen gemittelt  
15 wird.

9. Verfahren zum Ermitteln der Laufzeitdifferenz ( $\Delta t$ ) zweier Ultraschallsignale (S1, S2) eines Ultraschall-Strömungssensors mit zwei in Strömungsrichtung (2) versetzt angeordneten  
20 Ultraschallwandlern (A, B) die jeweils ein Ultraschallsignal (S1, S2) an den anderen Ultraschallwandler (B, A) aussenden, und einer Steuer- und Auswerteschaltung (4), die bei Empfang eines Ultraschallsignals (S1, S2) an einem der Ultraschallwandler (A, B) mehrere Empfangszeitpunkte ( $t_i', t_i''$ )  
25 pro Ultraschallsignal (S1, S2) detektiert, aus denen eine Messgröße (S) gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines ersten Zählers (5a) eine Zeitdauer ( $\Delta t'$ ) der vollen Intervalle ( $[t_i', t_{i+1}']$ ) eines Signals (S2, P) bis wenigstens zum ersten Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) eines  
30 Ultraschallsignals (S1) gezählt wird, und mittels eines zweiten Zählers (5b) jeweils die Zeitspannen ( $\Delta t''$ ) zwischen einem ersten und einem zweiten von mehreren paarweise zusammengefassten Empfangszeitpunkten ( $t_i', t_i''$ ) ermittelt werden.

35

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Zähler (5b) die Zeitdauern ( $\Delta t_i''$ ) zwischen mehreren paarweise zusammengefassten Zeitpunkten ( $t_i', t_i''$ ) misst, die jeweils einen Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_i'$ ) des Signals (S2, P) und einen Empfangszeitpunkt ( $t_i''$ ) des Ultraschallsignals (S1) umfassen.

5

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass geprüft wird, ob der erste Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) des Ultraschallsignals (S1) zeitlich näher am vorhergehenden ( $t_3'$ ) oder am folgenden Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_4'$ ) des Signals (S2,P) als eine vorgegebene Zeitschwelle ( $t_0$ ) liegt, wobei im ersten Fall der erste Zähler (5a) die Zeitdauer ( $\alpha t'$ ) vom ersten Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_1'$ ) bis zu demjenigen Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_3'$ ) des Signals (S2,P) zählt, der dem Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) des Ultraschallsignals (S1) vorhergeht, und im anderen Fall bis zu demjenigen Schalt- bzw. Empfangszeitpunkt ( $t_4'$ ) zählt, der dem ersten Empfangszeitpunkt ( $t_1''$ ) des Ultraschallsignals (S1) folgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9-11, dadurch gekennzeichnet, daß ein digitales Signal der Auswerteschaltung (4), das den Empfang eines Empfangsereignisses (Ai, Bi) anzeigt, mit einem Abtastsignal abgetastet wird, dessen Frequenz deutlich höher ist als der Kehrwert der Zeitgenauigkeit ( $\alpha t_j$ ) des Signals (20).

1 / 9

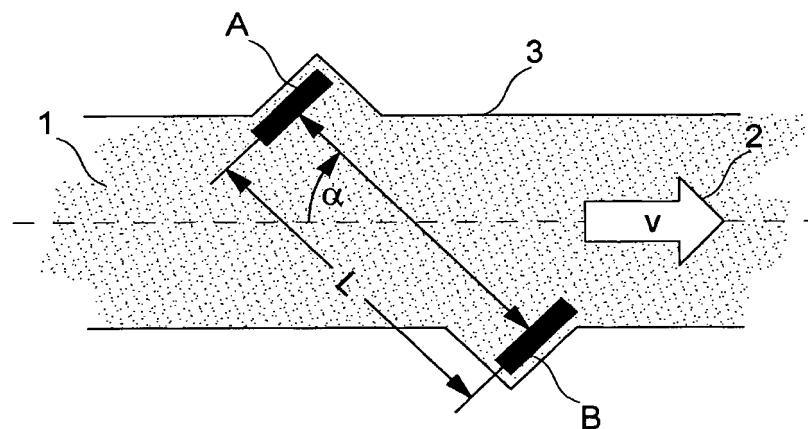


Fig. 1

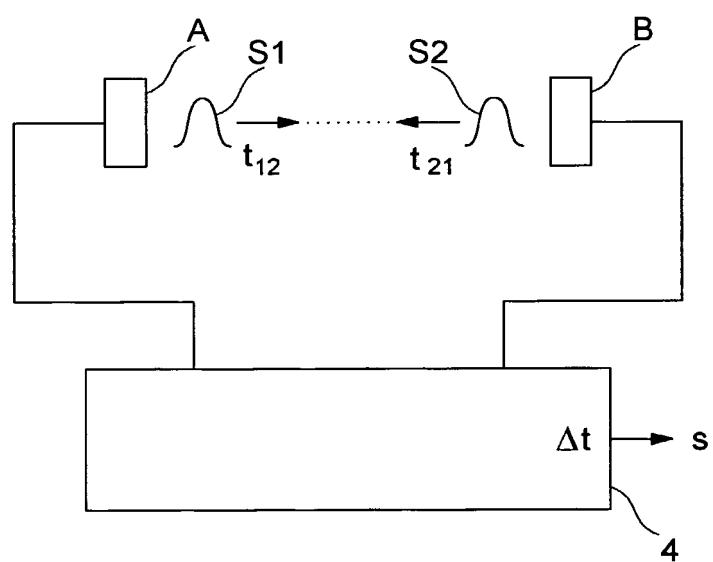


Fig. 2

2 / 9

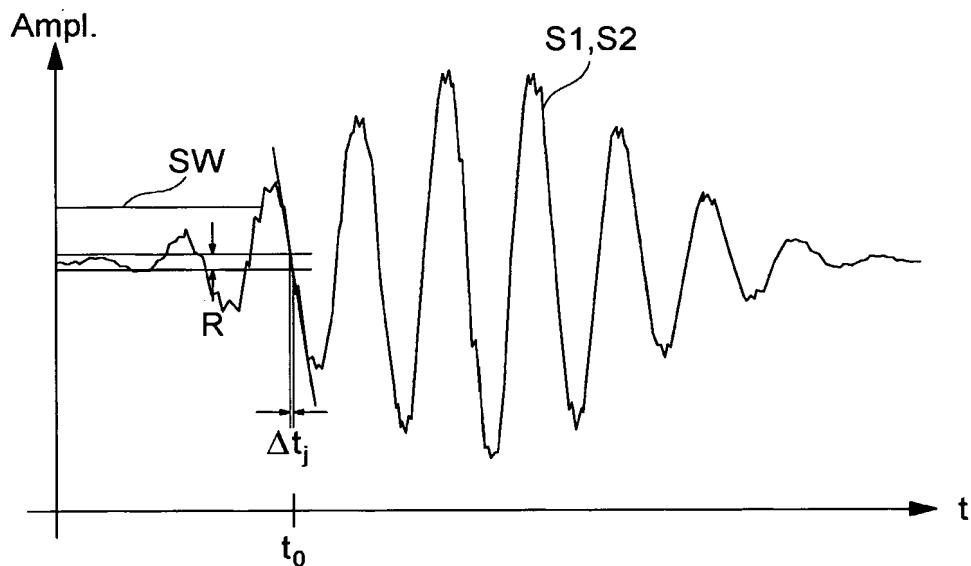


Fig. 3

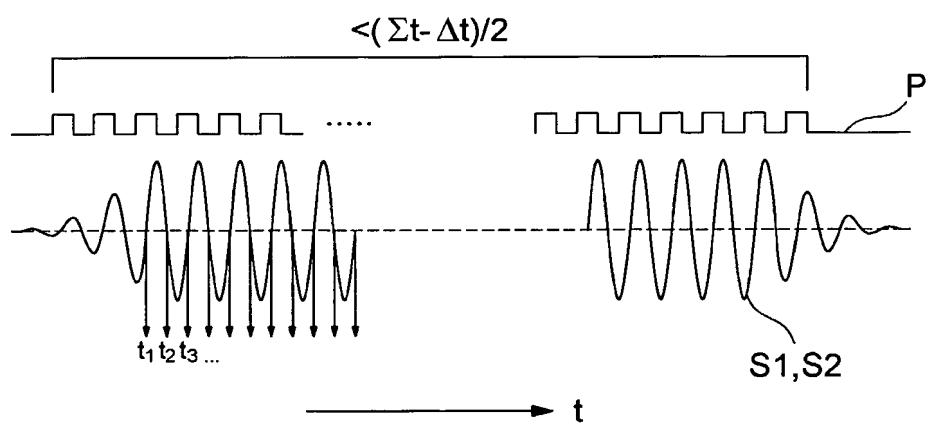


Fig. 4

3 / 9

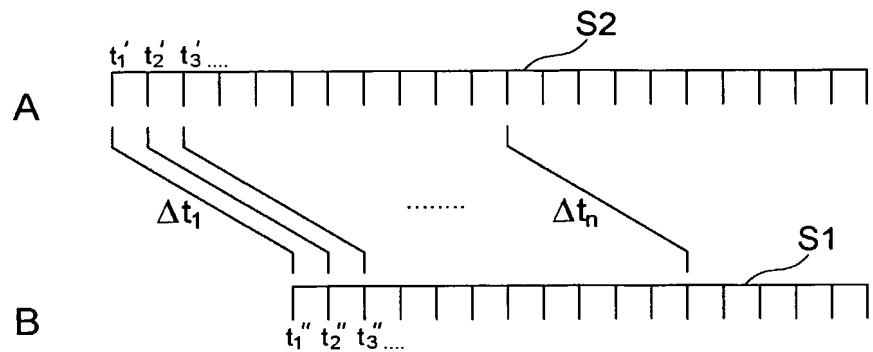


Fig. 5

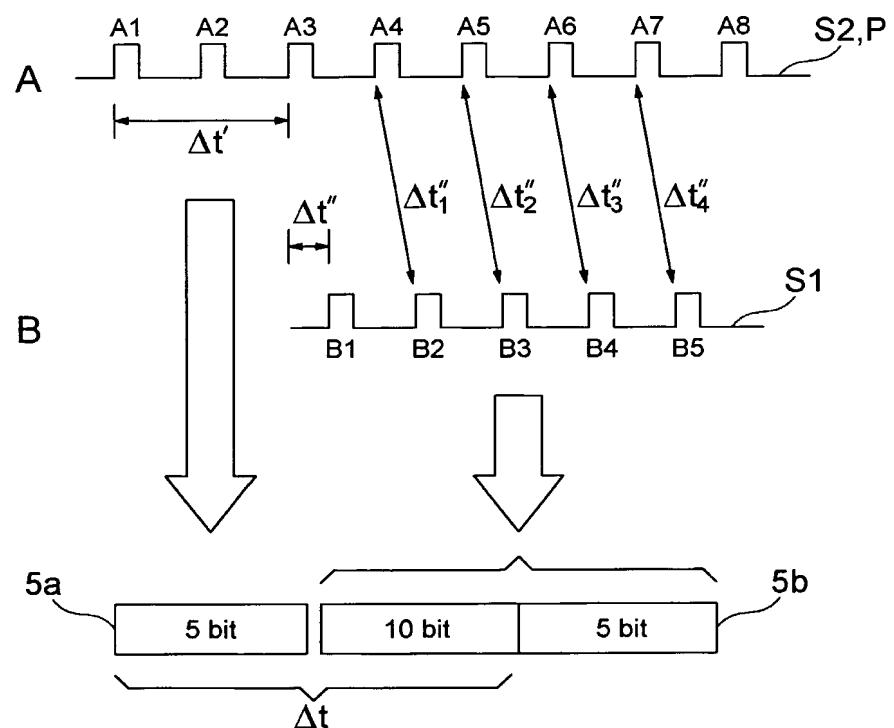


Fig. 6

4 / 9

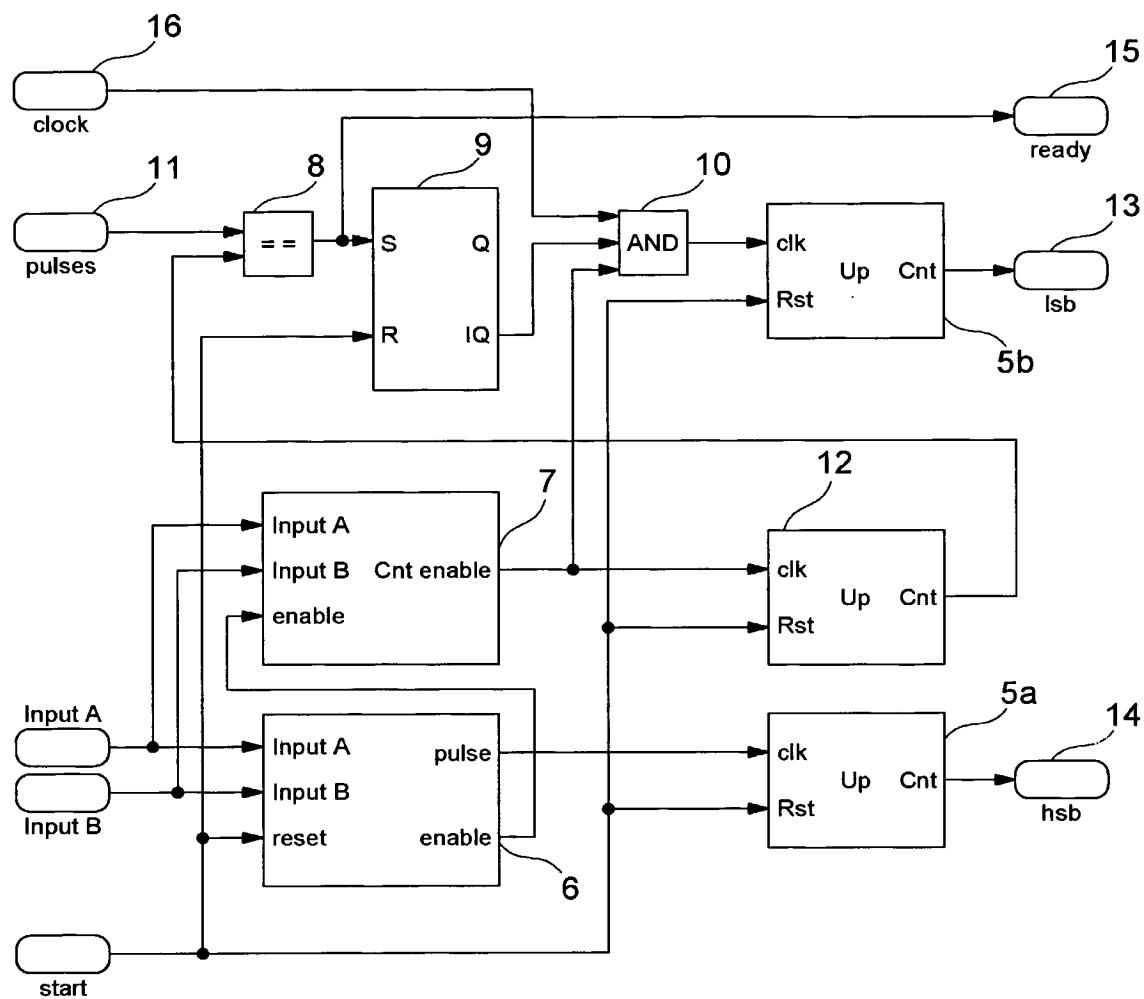


Fig. 7

5 / 9

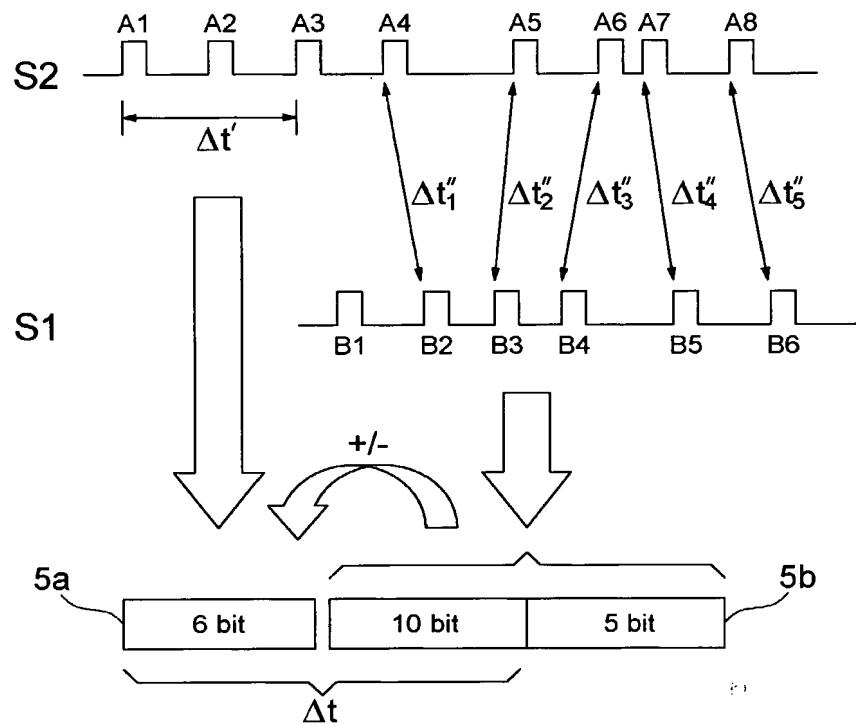


Fig. 8

6 / 9

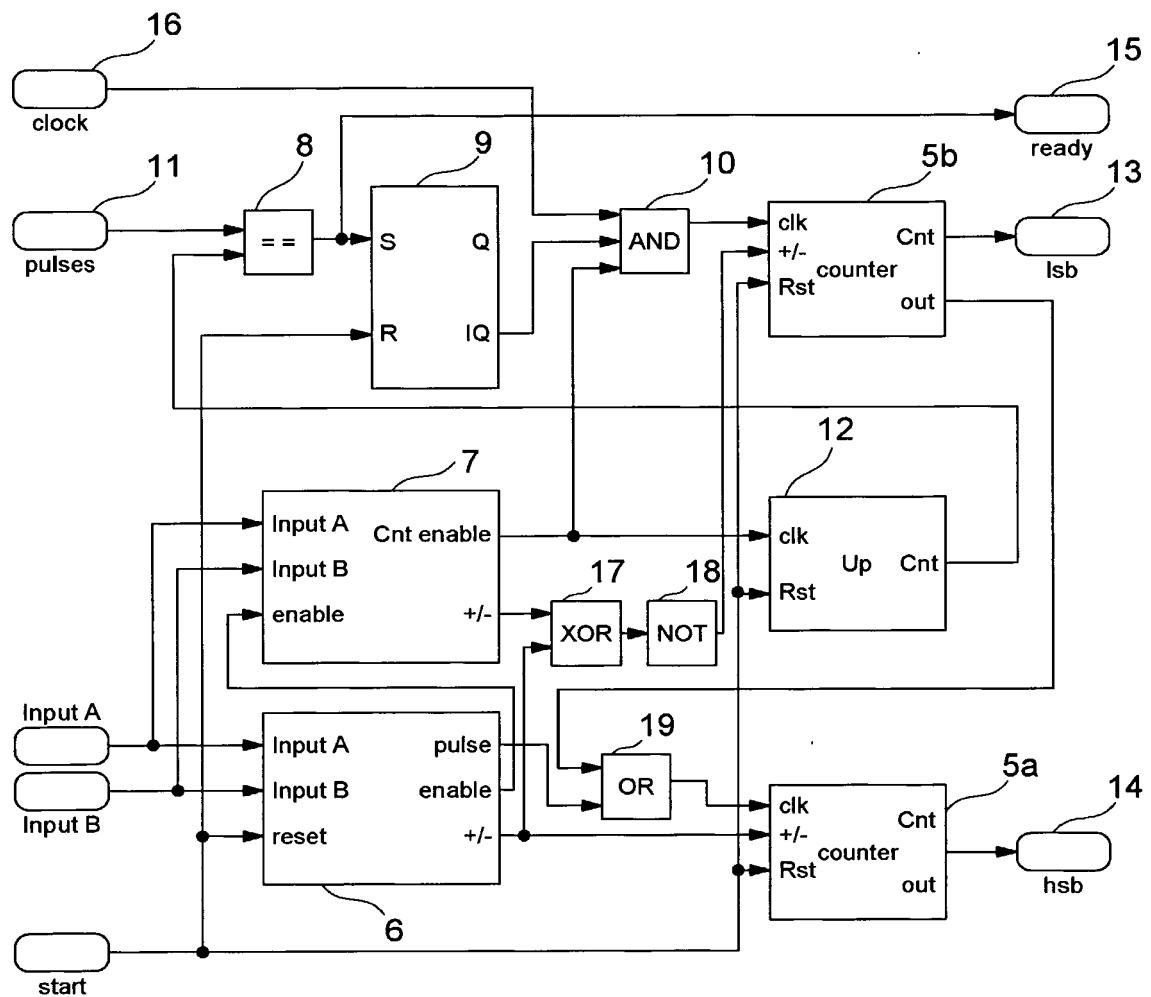


Fig. 9

7 / 9

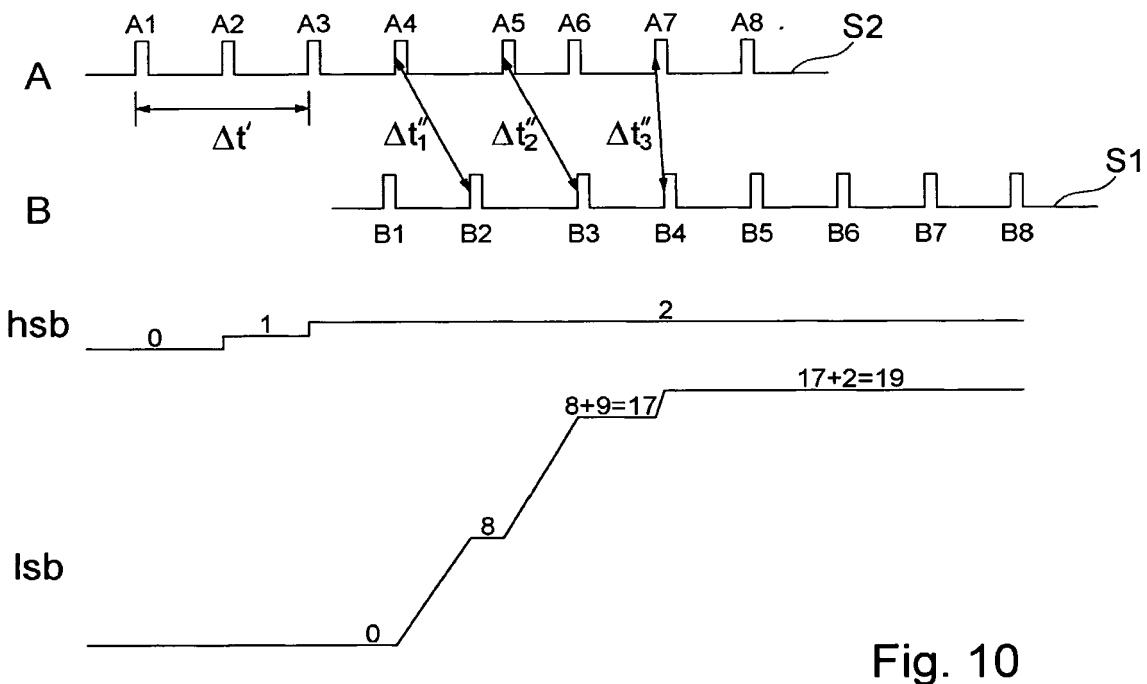


Fig. 10

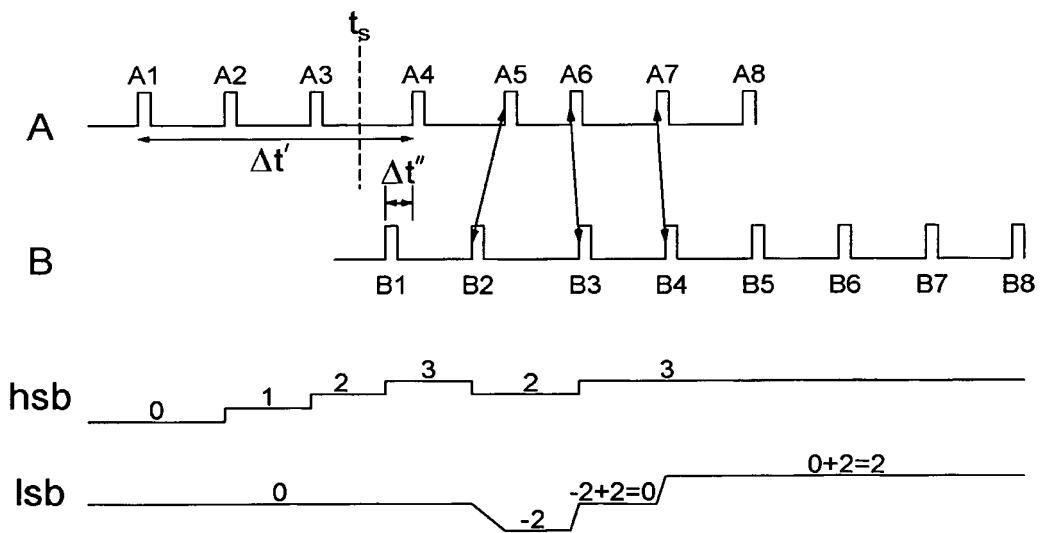


Fig. 11

8 / 9

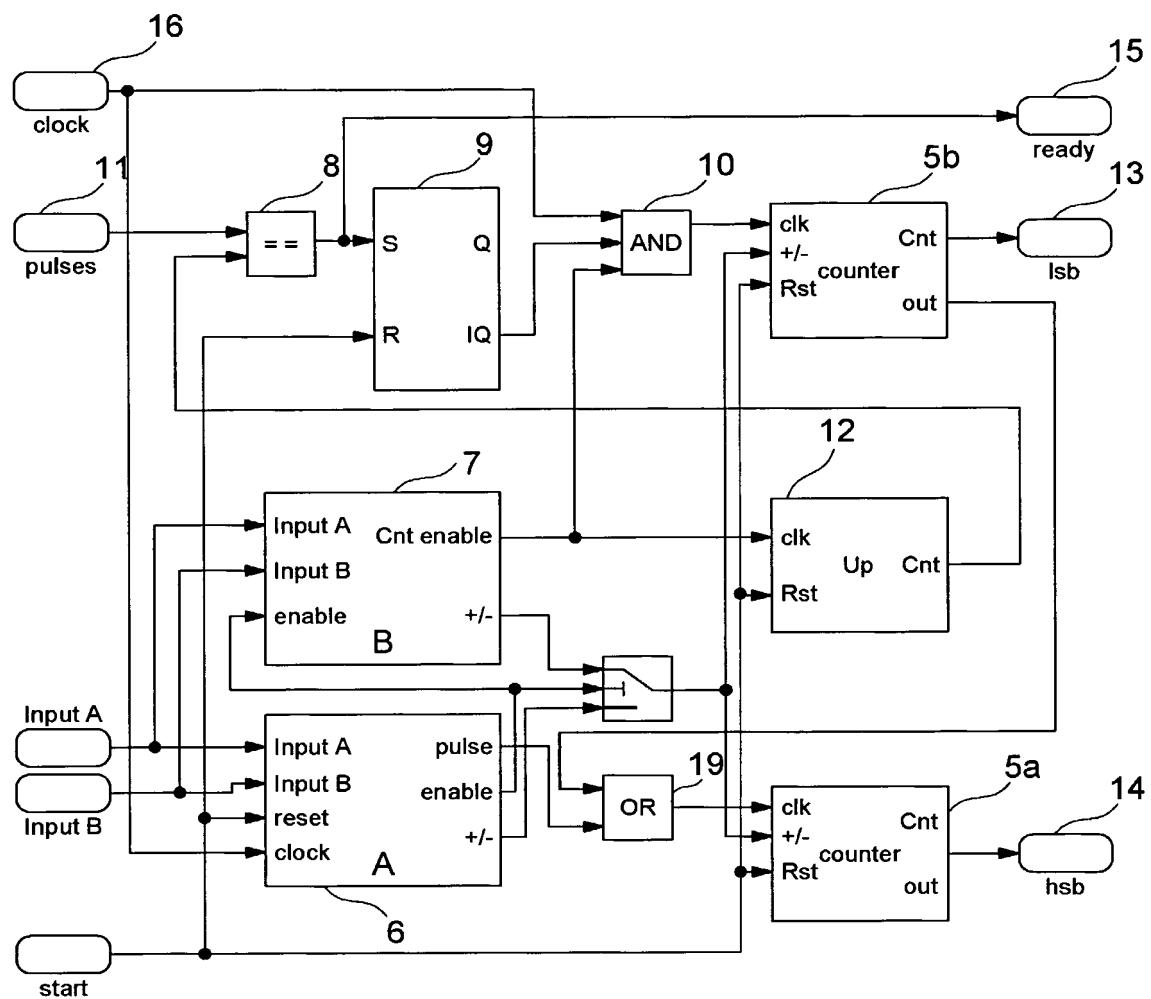


Fig. 12

9 / 9

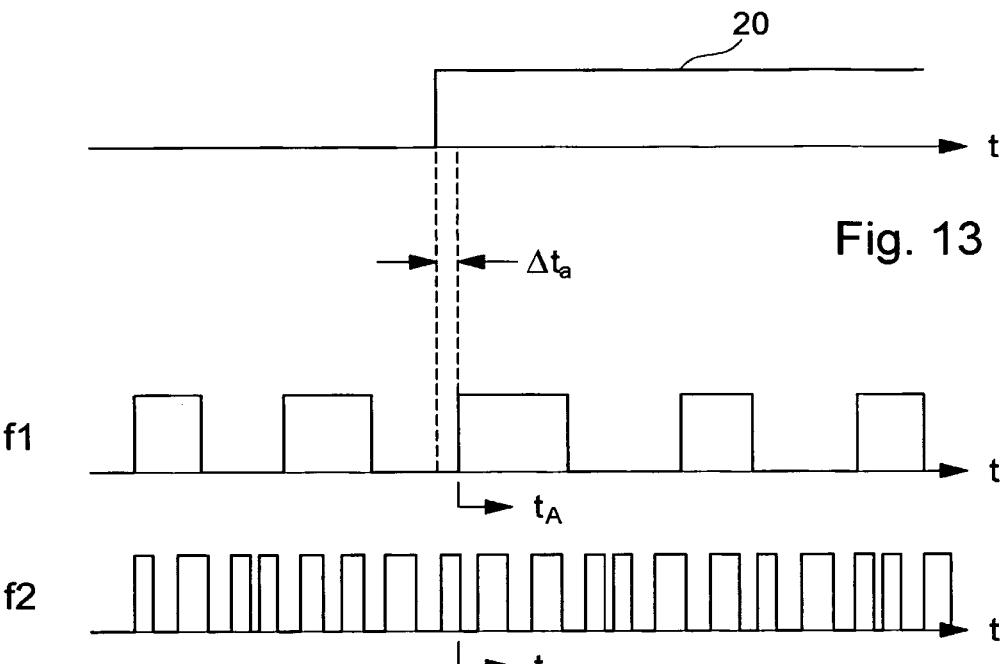


Fig. 13

Fig. 14

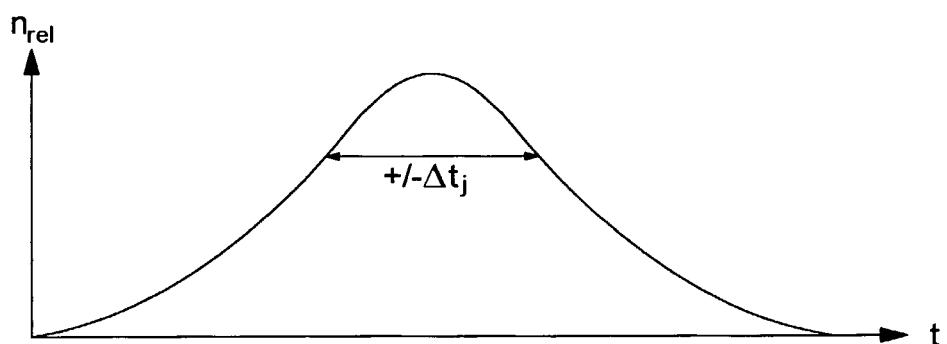


Fig. 15